



Diseño de herramientas de labranza combinando criterios biomiméticos y métodos numéricos

Santana, Nuria; Diego, Patricia

Tutores: Barreiro, Pilar

Departamento de Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

Correo electrónico: nuria.svega@alumnos.upm.es, p.diego@alumnos.upm.es

RESUMEN

El laboreo de conservación requiere el diseño de herramientas de labranza que cumplan criterios de calidad de la labor, resistencia al desgaste y reducción del consumo energético (debido fundamentalmente a la adherencia suelo/herramienta). La biomimética es la ciencia que refiere al estudio de la estructura y la función de los sistemas biológicos como modelos para el diseño y fabricación de materiales y máquinas, en un proceso de ingeniería inversa en que el ser humano saca provecho de los procesos evolutivos de la naturaleza. En este trabajo de revisión, 1998-2013, se describen las respuestas adaptativas de diversos seres vivos al problema de la adherencia, y se analiza el caso concreto de optimización de una vertedera, un brazo de subsolador y un disco de corte empleando modelos numéricos y criterios biomiméticos. En todos los casos las etapas llevadas a cabo por distintos investigadores son: formulación del modelo de elementos finitos del apero, para posteriormente (en función de las condiciones de contorno) y de propiedades del suelo, obtener los resultados de la simulación. Por último se verifica experimentalmente con datos reales (sólo en dos de los tres ejemplos). Como resultado, comprobamos que en el caso del disco de corte la tensión total que soporta el material se reduce en un 34% con un diseño optimizado, mientras que en el caso del subsolador biomimético la resistencia horizontal y vertical se reducen en un 7% y 24% respectivamente.

Palabras clave: *Laboreo, Eficiencia energética, Desgaste de aperos*

INTRODUCCION

En la última década, se han publicado dos trabajos de revisión (Ren et al, 2001),(Chirende y Li, 2009) que analizan las características de los organismos terrestres: su carácter anti-adherente y su posible aplicación al diseño de aperos energéticamente más eficientes. De acuerdo con ellos, el fenómeno de la adhesión se produce debido al contacto del suelo con un interfaz sólido, y es debida a la presión de capilaridad y a la resistencia viscosa cuando superficie de contacto está húmeda, mientras que en condiciones de suelo seco depende de la atracción molecular y de la depresión del aire. Los factores que influyen en la adherencia incluyen: la naturaleza y propiedades del suelo, las de la superficie de los componentes de los aperos de labranza, y de las condiciones de trabajo (Figura 1) para los que los organismos vivos han desarrollado diversas adaptaciones. La textura es un factor relevante. A medida que la proporción de partículas de arcilla aumenta, la adherencia se incrementa correlativamente. Los valores máximos de adhesión se producen cuando el contenido en humedad del suelo se encuentra entre el límite plástico y el límite líquido según clasificación de Atterberg.

Por otra parte, la estructura atómica o molecular del apero incide en la tensión superficial del material y en el ángulo de contacto con el suelo (θ), clasificándose en: superficies de alta energía generalmente hidrofílicas ($\theta < 90^\circ$) que favorecen la adhesión, mientras que las superficies de baja energía son hidrofóbicas ($\theta > 90^\circ$) y por tanto reducen la adhesión; la piel humana por ejemplo se sitúa en límite entre ambos con $\theta = 90^\circ$.

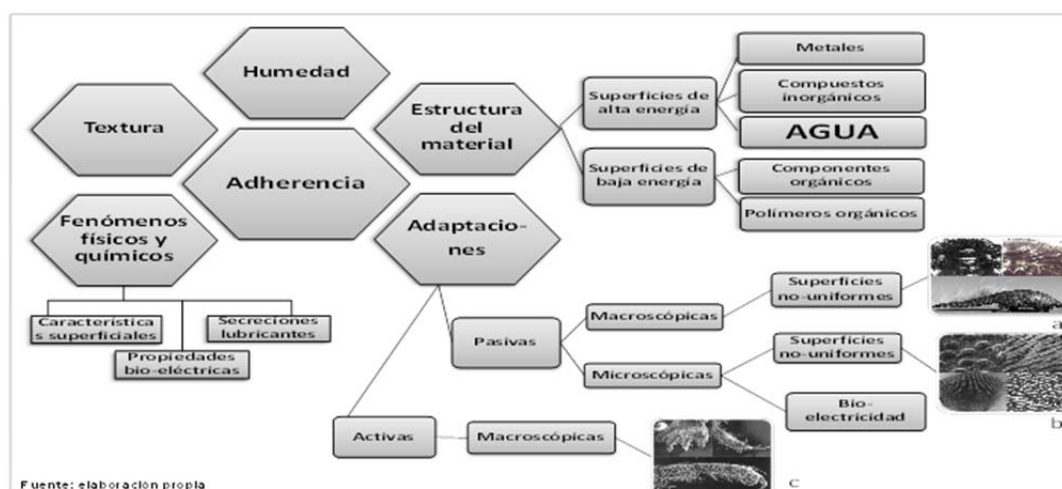
Los seres vivos han desarrollado dos tipos de adaptaciones evolutivas, las activas en las cuales el animal modifica el medio y las pasivas en las que es el animal el que se adapta al medio (Ren et al, 2001),(Tong et al, 2005) (Figura 1). Entre éstas últimas, las



superficies no-uniformes a nivel macroscópico ayudan a disminuir la superficie de contacto con el suelo, y a nivel microscópico contribuyen a mejorar las propiedades anti-adherentes. La bio-electricidad, adaptación pasiva microscópica, se basa en la diferencia de potencial eléctrico que se crea con el movimiento: potenciales de acción y de reposo. Un caso destacable es la lombriz de tierra que presenta el fenómeno microscópico de la electro-ósmosis (Ren et al, 2001): moviliza el agua del suelo hacia la zona de contacto provocando un efecto de lubricación.

En este trabajo de revisión, 1998-2013, se describen las respuestas adaptativas de diversos seres vivos al problema de la adherencia, y se analiza el caso concreto de optimización de una vertedera, un brazo de subsolador y un disco de corte empleando modelos numéricos y criterios biomiméticos.

Figura 1. Esquema de las respuestas adaptativas al problema de la Adherencia; las imágenes a y b proceden de (Tong et al, 2009) y c de (Ren et al, 2001).



BIOMIMETISMO Y ADAPTACIONES

El objetivo de la biomimética es modelizar las estructuras naturales, para conseguir imitar de manera fiel sus características y propiedades, y determinar si una vez incorporadas en un elemento artificial como por ejemplo los aperos estas propiedades se reproducen en ellos. Tal y como se recoge en la Figura 2, el análisis funcional, morfológico y estructural del sistema natural permite caracterizar específicamente las superficies de los organismos a nivel macroscópico y microscópico, así como el funcionamiento de los diversos procesos: bio-electricidad, electro-ósmosis y lubricación.

Para el diseño biomimético de algunos aperos de labranza se han seleccionado materiales de baja energía (hidrofóbicos) como el teflón (politetrafluoroetileno-PTFE) (Ren et al, 2001) o el polietileno de alto peso molecular (UHMWPE) (Ren et al, 2001), (Soni y Salokhe, 2006), (Soni et al, 2007), (Formato et al, 2005), aunque el inconveniente es su baja resistencia a la abrasión. El empleo en cambio de teflón reforzado con partículas de óxido de aluminio ofrece mejores resultados en cuanto a anti adherencia y resistencia a la abrasión (Ren et al, 2001). Por otra parte, la incorporación de estos materiales en forma de protuberancias convexas y depresiones cóncavas, con una distribución regular o irregular, sobre la superficie de los aperos también contribuye a disminuir hasta en un 26% la resistencia específica a la labranza con un efecto variable según la velocidad de trabajo (Soni et al, 2007).

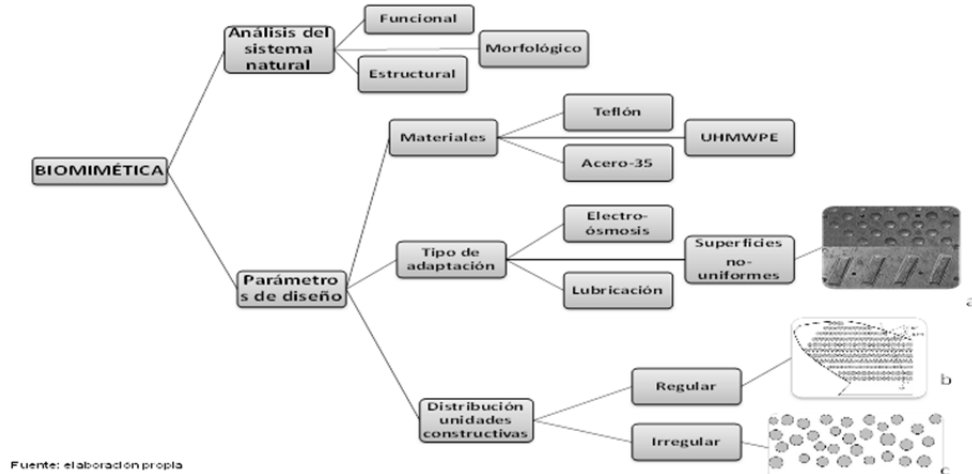
Incorporar el empleo de electro-ósmosis (ejemplo de bio-electricidad a nivel microscópico) al diseño de aperos de labranza es complejo, dado que la electro-ósmosis (más significativa en suelos arcillosos que arenosos), es difícil de aplicar puesto que requiere un tiempo de contacto prolongado apero/suelo y un voltaje elevado (por encima de 45 V). Por otra parte, la lubricación (que requiere un depósito para el fluido) no se contempla como solución general para los aperos de labranza.



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS Y EXPERIMENTACIÓN DIRIGIDA

En la Figura 3 se representa la modelización numérica de dos aperos de labranza: por una parte un arado de vertedera y por otro un subsolador. En ambos casos se suceden las mismas etapas: formulación del modelo de elementos finitos del apero, para posteriormente, en función de las condiciones de contorno y de propiedades del suelo, obtener los resultados de la simulación. Por último se verifica experimentalmente con datos reales, efectuando una comparación numérica entre ambos para establecer la calidad y fiabilidad del modelo. La Tabla 1 resume las características de los modelos y los resultados en diversos estudios (1999-2013), la biomimética se incorpora en 2006.

Figura 2. Biomimética: análisis y diseño; a, b y c proceden de (Ren et al, 2001).



La Figura 4 representa el estudio biomimético de la configuración morfológica de la garra de una rata de campo, incorporada a dos aperos: un disco de corte y un brazo de subsolador, que son modelizados mediante elementos finitos (ZhiJun et al, 2009) y (Li et al, 2013). En el caso del disco de corte la tensión total que soporta el material se reduce en un 34% y la tensión normal 22.6%, mostrando una mayor resistencia estructural y eficiencia de corte. En el caso del subsolador biomimético la resistencia horizontal y vertical se reduce en un 7% y 24%.

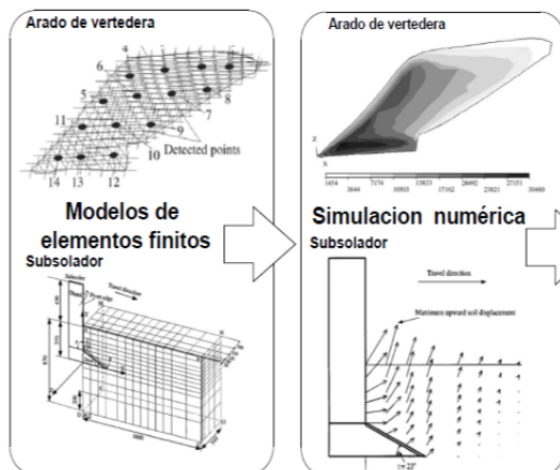


Figura 3. Proceso de validación de los modelos numéricos. Fuente: elaboración propia a partir de (Mouazen y Neményi, 1999), (Mouazen et al, 1999), (Formato et al, 2005).

Tabla 1. Resumen del procedimiento seguido en los diferentes artículos.

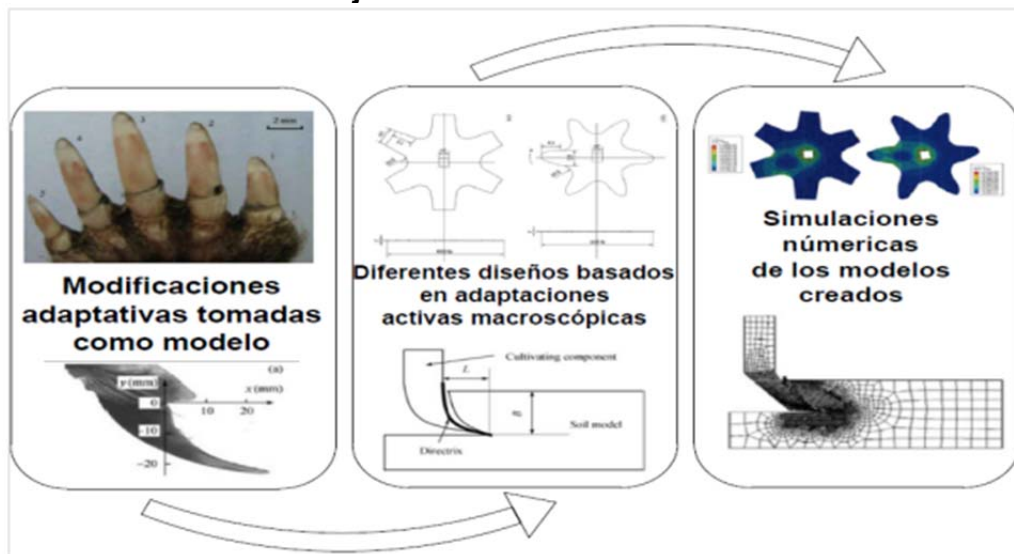
Publicación (año)	Diseño biomimético	Nodos en el modelo FEM	Validación experimental
Mouazen y Neményi, 1999	—	1374	error del 11-20%
Formato et al, 2005	—	150 000	$r^2=0,997$
Soni y Salokhe, 2006	APm y APM ¹	—	✓
Soni et al, 2007	APm y APM ¹	—	$r^2>0,9$
Tong et al, 2009	APm y APM ¹	450	✓
ZhiJun et al, 2009	AAM ²	1100	✓
Li et al, 2013	AAM ²	10192	—

¹ APm y APM: Adaptación pasiva microscópica y macroscópica. ² AAM

Adaptación activa macroscópica. Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Proceso de experimentación dirigida basándose en adaptaciones para mejorar los diseños actuales.



Fuente: Elaboración propia a partir de (ZhiJun et al, 2009) y (Li et al, 2013).

CONCLUSIONES

El estudio de la biomimética combinado con herramientas de modelización en ingeniería como son los elementos finitos, permite optimizar más rápidamente y con un menor coste de desarrollo los diseños de los aperos de labranza en aspectos relativos a la eficiencia energética y el desgaste. Los resultados obtenidos en algunos ensayos experimentales de diferentes tipos de adaptaciones, tanto pasivas como activas, son prometedores aunque esta metodología está todavía en fase de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chirende y Li, 2009. Review on application of biomimetics in the design of agricultural implements-Standard review. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews* Vol.4 (2) pp. 042-048.
- Formato et al, 2005. Numerical Simulation of Soil-plough Mouldboard Interaction. *Biosystems Engineering* 92 (3), 309-3016.
- Li et al, 2013. Biomimetic Design of a Stubble-Cutting Disc Using Finite Element Analysis. *Journal of Bionic Engineering* 10, 118-127.
- Mouazen, y Neményi, 1998. A review of the finite modeling techniques of soil tillage. *Mathematics and Computers in Simulation* 48, 23-32.
- Mouazen y Neményi, 1999. Tillage Tool by the Finite Element Method: Part 1. Finite Element Modelling of Soil Plastic Behaviour. *Journal of Agricultural Engng Reserch* 72, 37-51.
- Mouazen et al, 1999. Tillage Tool Design by the Finite Element Method: Part 2. Experimental Validation of the Finite Element Results with Soil Bin Test. *Journal of Agricultural Engng Reserch* 72, 53-58.
- Ren et al, 2001. Soil Adhesion and Biomimetics of Soil-engaging Components: a Review. *Silsoe Reserch Institute*, 239-260.
- Soni y Salokhe, 2006. Influence of Dimensions of UHMW-PE Protuberances on Sliding Resisitance and Normal Adhesion of Bangkok Clay Soil to Biomimetic Plates. *Journal of Bionic Engineering* 3, 063-071.
- Soni et al, 2007. Modification of a mouldboard plough surface using arrays of polyethylene protuberances. *Journal of Terramechanics* 44, 411-422.
- Tong et al, 2005. Geometrical features and wettability and dung beetle and potential biomimetic engineering applications in tillage implements. *Soil & Tillage Reserch* 1-12.
- Tong et al, 2009. Effects of Biomimetic Surface Designs on Furrow Opener Performance. *Journal of Bionic Engineering* (6), 280-289.
- ZhiJun et al, 2009. Bionic optimization research of soil cultivating component design. *Science in China Series E; Technological Sciences*, vol.52, no 4, 955-956.